

**Выводы и рекомендации.** В результате сравнительных исследований триботехнических и прочностных свойств образцов, вырезанных из вкладышей подшипника скольжения на основе серийных (баббит Б-83 ГОСТ 1320-74) и модифицированных баббитных материалов (МБМ), было установлено, что образцы из МБМ значительно превосходят образцы из баббита Б-83 ГОСТ 1320-74 по главному показателю – износостойкости, хотя в процессе приработки их износ более интенсивный. Кроме того, образцы МДМ имеют на 12 % меньшие значения твердости и прочности на сжатие.

Детальный анализ прочностных свойств покрытий из баббита Б-83 и МБМ показал, что баббит Б-83 имеет практически беспористую структуру, а покрытие из МБМ – значительную пористость. Это объясняет меньшую прочность покрытия из МБМ при сжатии по сравнению с покрытием из баббита Б-83: при сжатии идет процесс заполнения пор, что требует гораздо меньших усилий, чем при сжатии компактного материала. Однако сам материал покрытия МБМ имеет гораздо большую твердость, чем материал Б-83, что подтверждается значительно худшей прирабатываемостью МБМ по сравнению с Б-83. Зато благодаря своей более высокой твердости и пористости материал МБМ показал значительно большую износостойкость (не менее, чем в 10 раз!), чем стандартный материал Б-83, при одинаковом коэффициенте трения в процессе стабильного периода работы. Таким образом, можно рекомендовать новый модифицированный баббитовый материал (МБМ) для восстановления подшипников скольжения в газоперекачивающих агрегатах, а также в других машинах и механизмах с тяжелыми условиями эксплуатации узлов трения.

#### Литература

1. Елютина, О.П. Практические вопросы испытания металлов / О.П. Елютина. – М.: Металлургия, 1978. – 277 с.

УДК 669.041

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗЕРВОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ОБЪЕМНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ПОКОВОК ИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Т.Н. Стрижевская

*Белорусский национальный технический университет, Минск*

**Введение.** Совершенствование технологических процессов термической обработки в значительной степени определяет производительность

труда, себестоимость готовой продукции, экономию материальных и энергетических ресурсов [1].

Анализ тенденций развития энергосберегающих технологий термической обработки свидетельствует, что проводимые в настоящее время мероприятия по энергосбережению, как правило, направлены преимущественно на создание нового энергосберегающего термического оборудования и его полную или частичную модернизацию [2]. Энергосберегающая оптимизация режимов и технологии термической обработки недостаточно освещена и требует выполнения самостоятельного комплекса исследовательских и опытно-промышленных работ.

**Обоснование возможности уменьшения времени выдержки при закалке конструкционных сталей.** В процессах термической обработки, например, при закалке, используется длительная выдержка детали при высоких температурах. Эта выдержка необходима для полного протекания фазовых превращений (например, перлито-аустенитного при нагреве под закалку углеродистых сталей), гомогенизации твердого раствора (аустенита). Гомогенизация твердых растворов является одной из важнейших составляющих частей многих превращений в металлических и неметаллических системах; в ряде случаев она определяет кинетику и механизмы этих превращений. Однако наиболее часто понятие гомогенизации связывают с представлениями о выравнивании состава твердого раствора в макромасштабах в пределах объема отдельных зерен.

Коэффициент температуропроводности стали значительно превышает коэффициент диффузии. Небольшие размеры заготовок позволяют предположить, что во время прогрева заготовки до заданной температуры температурный перепад по сечению равен нескольким градусам. Следовательно, время выдержки определяется в основном не временем выравнивания температуры по сечению детали (кроме случая крупногабаритных деталей, когда медленный или ступенчатый нагрев необходим для предотвращения деформации и/или растрескивания), а временем, необходимым для достаточно полного протекания диффузионных процессов. Эта стадия операции термообработки является наиболее длительной и, следовательно, самой энергоемкой, поскольку происходящие во время изотермической выдержки физико-химические и структурные превращения лимитируются весьма медленным процессом – твердофазной диффузией.

Время нахождения изделий в печи, с одной стороны, должно обеспечивать завершение фазовых превращений, а с другой – не должно быть слишком большим, чтобы не вызвать обезуглероживания поверхностных слоев и роста зерна стали. При уменьшении времени выдержки при за-

калке наряду с положительными результатами могут быть и отрицательные. Недостаточная выдержка может привести к неполной закалке, которая приводит к сохранению в структуре закаленной стали кристаллов доэвтектоидного феррита (рис. 1). Из-за низкой твердости феррита твердость стали после закалки будет неоднородна и существенно понижена.



Рис. 1. Микроструктура стали с 0,40 % С ( $\times 500$ ) – мартенсит-феррит

**Исследования влияния уменьшения времени выдержки при закалке на структуру и механические свойства стали 40Х.** На Минском автомобильном заводе был проведен анализ деталей кузнечного производства, у которых окончательной термической обработкой является закалка с высоким отпуском. Анализ проводился с целью определения деталей, изготавливаемых из конструкционных среднеуглеродистых и низколегированных сталей, пригодных по своей конфигурации для предлагаемых мероприятий энергосбережения при термической обработке. Анализируемые детали должны отвечать следующим требованиям:

- 1) простая геометрическая форма;
- 2) изготовлены из среднеуглеродистых или низколегированных конструкционных сталей;
- 3) вид термической обработки – улучшение;
- 4) крупносерийное или массовое производство.

Был выбран ряд деталей, которые по своей конфигурации близки к простой форме, не имеют резких переходов, имеют небольшие размеры: гайка (сталь 40), головка штанги (сталь 35), рычаг (сталь 40), стакан (сталь 40), палец (сталь 40Х).

Исходя из анализа производственной программы и конфигурации деталей для исследований выбрана деталь 64221-2979030 – «палец» (рис. 2). Годовая программа выпуска детали 64221-2979030 – «палец» из стали 40Х составляет 216027 шт./год (930 т/год).

В условиях завода на деталях «палец» из стали 40Х изучено влияние фактора уменьшения времени выдержки при закалке на структуру и механические свойства. Было отобрано десять деталей, которые подвергли закалке по



Рис. 2. Деталь 64221-2979030 – «палец», сталь 40Х

различным режимам (с различным временем выдержки: 90, 72, 65, 58, 50 мин). После различных режимов закалки была изучена микроструктура и механические свойства на образцах.

Структура деталей, обработанных по режимам 1 – 4, представляет собой в тонком сечении у поверхности – мартенсит (рис. 3, а), далее – троостомартенсит (рис. 3, б). Твердость поверхности в тонком сечении 55-56 HRC, по сечению 50-45 HRC. Структура в толстом сечении от поверхности – мартенсит, далее – троостомартенсит. Твердость поверхности в толстом сечении 52 – 53 HRC, твердость на глубине 5 мм – 50 HRC, 10мм – 45 HRC, 15мм и далее – 40 HRC. Данные результаты свидетельствуют о полной закалке. Время выдержки было достаточным для выравнивания температуры по всему сечению, и переход феррита в твердый раствор был совершен полностью.

При сокращении времени выдержки до 40 % в структуре закаленной стали феррита выявлено не было, что свидетельствует о том, что при температуре закалки все детали имели 100 %-ную аустенитную структуру и все диффузионные процессы были завершены в полном объеме.

Структура деталей, обработанных по режиму 5, представляет собой в тонком сечении у поверхности – мартенсит, далее – троостомартенсит. Твердость поверхности пальца в тонком сечении 50 – 55 HRC, по сечению 45 – 40 HRC. Структура пальца в толстом сечении от поверхности – мартенсит, далее – троостомартенсит+участки троостита+прожилки феррита (рисунок 3, в). Твердость поверхности пальца в толстом сечении 52 HRC, твердость на глубине 5мм – 50 HRC, 10мм – 40-45 HRC, 15мм и далее – 35 HRC. Сокращение времени выдержки в данном случае было в два раза и составило 50 мин. Этого времени было недостаточно для полного перехода феррита в твердый раствор и протекания диффузионных процессов. В результате в сердцевине толстого сечения пальца получили структуру не-полно закаленной стали.

На рис. 4 представлена зависимость твердости по сечению образцов.

Выполненные работы свидетельствуют о возможном сокращении времени выдержки при нагреве под закалку деталей, изготовленных из среднеуглеродистых и низколегированных сталей небольших размеров и простой конфигурации.

**Экономические показатели.** Для оценочного расчета экономии энергоресурсов за счет сокращения времени выдержки при закалке использовали производственные данные. При существующем режиме закалки детали 64221-2979030 – «палец» расход природного газа на нагрев одной партии составляет 240 м<sup>3</sup>. При сокращении времени выдержки при за-

калке до 40 % расход природного газа сокращается до 154 м<sup>3</sup>. Производственная программа изготовления детали 64221-2979030 – «палец» составляет 216027 шт. /год. С учетом этого экономия природного газа за год составит 230000 м<sup>3</sup> (265 т у.т.). В денежном эквиваленте годовая экономия составит 31800 у.е.

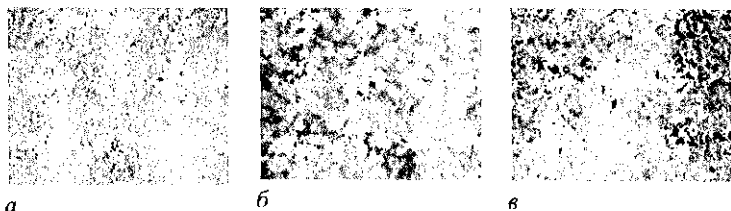


Рис. 3. Микроструктуры образцов после различных режимов закалки:

*a* – микроструктура стали 40X после закалки: мартенсит, твердость 55 – 56 HRC,  $\times 500$ ; *b* – микроструктура стали 40X после закалки: мартенсит + троостит, твердость 50 – 45 HRC,  $\times 1000$ ; *в* – микроструктура стали 40X после закалки: троостомартенсит + участки + прожилки феррита, твердость 40 – 35 HRC, X500

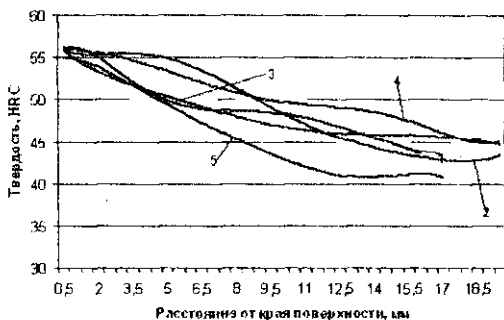


Рис. 4. Распределение твердости по сечению образца:

1 – время выдержки 50 мин; 2 – время выдержки 58 мин;  
3 – время выдержки 65 мин; 4 – время выдержки 72 мин; 5 – время выдержки 90 мин

### Заключение

1. При сокращении времени выдержки до 40 % в структуре закаленной стали феррита выявлено не было, что свидетельствует о том, что при температуре закалки все детали имели 100 %-ную аустенитную струк-

туру и все диффузионные процессы были завершены в полном объеме. При сокращении более 40 % в структуре закаленной стали выявлены прожилки феррита. Следовательно, времени выдержки для полной гомогенизации аустенита было недостаточно. Из-за низкой твердости феррита твердость стали после закалки будет неоднородна и существенно понижена.

2. Оценочный расчет применения энергосберегающих режимов при закалке деталей, изготавливаемых из среднеуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей, свидетельствует о возможностях экономии энергоресурсов на 10 – 20 % при сохранении качества термической обработки.

### Литература

1. Башнин, Ю.А. Технология термической обработки стали: учеб. для вузов / Ю.А. Башнин, Б.К. Ушаков, А.Г. – М.: Металлургия, 1986. – 424 с.
2. Стрижевская, Т.Н. Классификация применяемых технологий энергосбережения при термической обработке / Т.Н. Стрижевского / Новые материалы и технологии их обработки: Материалы IX Респ. СІПК, апрель 2008 г. – Минск: БНТУ. – С. 30.
3. К проблеме энергосбережения и повышения качества термической обработки / В.М. Константинов [и др. ] // Металлургия: республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: Белорусская наука, 2008. – Вып. 31.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБУЧЕНИЕ»

С.Н. Анкуда

*УО «Минский государственный высший радиотехнический колледж»*

**Введение.** Комплексное научно-методическое обеспечение дисциплин психолого-педагогического цикла по специальности «Профессиональное обучение» предполагает организацию и выполнение следующего алгоритма деятельности профессорско-преподавательского состава [1]:

- учет особенностей формирования учебного процесса по учебной дисциплине (дневная, заочная формы);
- определение назначения и трудоемкости учебной дисциплины;
- выбор и проектирование технологии процесса обучения по учебной дисциплине (традиционные, инновационные);
- обеспечение междисциплинарных связей учебной дисциплины в общем перечне дисциплин;
- стимулирование, организация и методическое обеспечение самостоятельной работы студентов, увеличение времени их индивидуального общения с преподавателями;
- работа преподавателей по созданию необходимых учебно-методических средств;
- организация систематического изучения и использования в учебном процессе современных средств вычислительной техники, информационных и коммуникационных технологий;
- совершенствование организации учебного процесса с учетом новых возможностей, открываемых эффективным применением информационных технологий.

**Формирование информационно-образовательной среды.** В настоящее время в учебном процессе МГВРК формируется единая политика и системный подход к планированию, разработке, внедрению и организации регулярного использования образовательных ресурсов на основе новых информационных технологий. Для деятельности любого образова-